

**ZUM PROBLEM DER LÄRMSCHWERHÖRIGKEIT
DIE SCHWELLENABWANDERUNG NACH
BELASTUNG MIT BREITBANDRAUSCHEN UND
IHRE RÜCKBILDUNG IN RUHE
UND UNTER NACHBELASTUNG**

Birgit Delisle

1975



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und
Ohrenkranke der Universität München
Direktor: Prof. Dr. H. H. Naumann
und
der Hals-, Nasen- und Ohrenabteilung des
Kreiskrankenhauses München-Pasing
Chefarzt: Prof. Dr. L. Schreiner

ZUM PROBLEM DER LÄRMSCHWERHÖRIGKEIT
DIE SCHWELLENABWANDERUNG NACH BELASTUNG MIT BREIT-
BANDRAUSCHEN UND IHRE RÜCKBILDUNG IN RUHE UND
UNTER NACHBELASTUNG

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Birgit Delisle
aus
München
Jahr
1975

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. L. Schreiner

Mitberichterstatter: Prof. Dr. H. Naumann

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 5.8.1975



INHALT

A. Lärmschwerhörigkeit als Berufskrankheit	3
1. Einleitung	3
2. Pathophysiologie	3
3. Audiometrisches Bild der Lärmschwerhörigkeit	4
4. Entstehung der c^5 -Senke	6
5. Verlauf der Lärmschwerhörigkeit	7
6. Lärmbewertung	8
B. Die physiologische Hörermüdung	9
C. Problemstellung	12
D. Eigene Untersuchungen	14
1. Versuchsaufbau	14
2. Versuchsablauf und Ergebnisse	15
Versuch I: Die Schwellenabwanderung nach Be- lastung mit Breitbandrauschen	15
Versuch II: Die Rückbildung der Schwellenab- wanderung in Ruhe	20
Versuch III: Die Rückbildung der Schwellenab- wanderung unter Nachbelastung	23
E. Auswertung und Vergleich mit der Literatur	26
F. Diskussion von "Lärmpausen"-Beispielen in der Industrie	33
G. Zusammenfassung	37
Literaturverzeichnis	38

A. LÄRMSCHWERHÖRIGKEIT ALS BERUFSKRANKHEIT

1. Einleitung

Es ist seit langem bekannt, daß chronische Lärmeinwirkung eine bleibende Schädigung des Hörvermögens verursacht. Seit 1929 gelten in Deutschland schwere Lärmschädigungen des Gehörorgans als entschädigungspflichtige Berufskrankheit. Die Anerkennungsbedingungen waren jedoch sehr streng, so daß nur an Taubheit grenzende Schwerhörigkeit unter die Bestimmungen fiel. Ab 1961 werden mit der 6. Berufskrankheitenverordnung auch leichtere Fälle von Lärmschwerhörigkeit als Berufskrankheit anerkannt. Die Lärmschwerhörigkeit ist heute eine der häufigsten Berufskrankheiten. Die Weltgesundheitsorganisation bezeichnet die Lärmschwerhörigkeit sogar als Berufskrankheit Nummer 1. (JEITER u. HORNEFFER 18)

2. Pathophysiologie

Lärmschwerhörigkeit gehört in die Gruppe der akustischen Traumen. Die chronische Einwirkung des Lärms verursacht eine Schädigung des Innenohres.

Eine mechanische Schädigung des Innenohres erfolgt nur bei extrem hohen Schallpegeln von 150 dB und mehr. ENGSTRÖM und ADES (10) konnten bei diesen hohen Schallpegeln eine Ruptur der Sinneszellmembran feststellen.

Die histologischen Veränderungen zu Beginn einer Lärmschädigung des Ohres haben RÜEDI und FURRER (36) durch Experimente an Meerschweinchen festgestellt. Die ersten Veränderungen nach starker Lärmbelastung zeigen sich immer im selben Bereich - vom Ende der ersten bis zur Mitte der zweiten Schneckenwindung - in Form eines Zerfalls der äußeren Haarzellen. Die Kerne der Haarzellen lösen sich auf, der Zellleib quillt auf und wird resorbiert. Ebenso degenerieren

die Deiter'schen Stützzellen. In fortgeschrittenen Stadien des Lärmtraumas verbreitert sich die Degenerationszone im Corti'schen Organ vor allem schneckenaufwärts. Die Strukturen des ganzen Corti'schen Organs werden allmählich zerstört und abgebaut. Die Nervenfasern und Ganglienzellen werden in Form einer aufsteigenden retrograden Degeneration erst ziemlich spät von der Schädigung erfaßt.

Die Degeneration des Innenohres geht auf eine starke unphysiologische Belastung des Stoffwechsels des Innenohres zurück. Die im Bereich der Striae Vascularis gespeicherten Fermente nehmen nach starker Lärmbelastung ab. Es findet ein unphysiologischer Fermentverbrauch statt, der zur Schädigung der Haarzellen führt (DIBROFF 5; DISHOECK 8). BECK und MICHLER (1) fanden nach starker Lärmbelastung eine Abnahme des Ribonukleinsäuregehalts im Plasma der Haarzellen. VOSTEEN (44) stellte im Bereich des Corti'schen Organs einen Sauerstoffmangel fest, da bei Lärmbelastung der Sauerstoffverbrauch größer als das Sauerstoffangebot ist.

3. Audiometrisches Bild der Lärmschwerhörigkeit

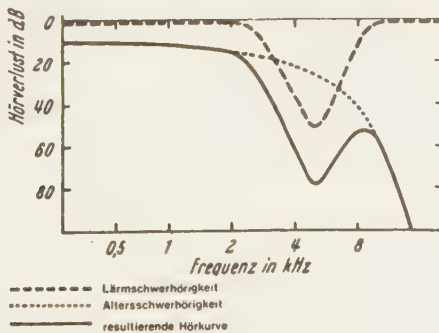
Die Entwicklung der Lärmschwerhörigkeit zeigt ein charakteristisches audiometrisches Bild. Zu Beginn der Lärmschwerhörigkeit zeigt sich häufig eine umschriebene Senke mit einem Maximum bei 4.000 Hz (sog. c^5 -Senke). Das Maximum kann jedoch auch bei 3.000 oder 6.000 Hz liegen, so daß man besser von einer Hochtensenke spricht (LENHARDT 27).

Bei weiterer Belastung wird die Hochtensenke tiefer und breiter und geht dann in einen Hochttonabfall über, wobei noch keine Behinderung des Sprachgehörs bestehen muß, da tiefere Frequenzen meist noch nicht betroffen sind.

Erst nach jahrelanger Lärmexposition ist der Hochttonabfall so groß, daß auch tiefere Frequenzen beteiligt sind und

damit der soziale Hörbereich gestört ist. In dieser Phase wird dem Lärmarbeiter erst seine Schwerhörigkeit bewußt, da auch die normale Umgangssprache für ihn schwer verständlich ist und er somit in seiner Kommunikation gestört ist. Auf dieses soziale Handikap weist besonders die "Hygiene Standart for Wide-Band Noise" (54) hin. Als Grenzwert für die Störung der Sprachperception gilt eine Hörschwellenverschlechterung, die bei 3.000 Hz einen Hörverlust von 40 dB überschreitet (DIEROFF 5; LEHNHARDT 27; SCHWETZ 40; PLATH 32). Eine vollständige Taubheit tritt jedoch so gut wie nie ein.

Die Altersschwerhörigkeit entwickelt sich neben der Lärmschwerhörigkeit. Sie beruht auf einer am basalen Ende der Schnecke beginnenden numerischen Atrophie der Nervenzellen und Nervenfasern. Mit steigendem Alter nimmt der Untergang der Ganglienzellen zu. Im weiteren Verlauf atrophieren sämtliche zentrale Bahnen bis hinauf zur Hörrinde (DISHOECK 7; DIEROFF 5). Somit erfolgt im Alter eine Summation der Lärmschwerhörigkeit und der Altersschwerhörigkeit und damit eine weitere Verschlechterung des Gehörs.



Angenommene Summation bei Presbykusie und Lärmschwerhörigkeit (umgezeichnet nach Van der Waal) (IRION 17)

4. Entstehung der c^5 -Senke

Die Entstehung der c^5 -Senke führen RÜEDI und FURRER (36) auf Wirbelbildung im Innenohr zurück. Ein Tongemisch erzeugt in der Schneckenflüssigkeit Wirbel, deren Lage entlang der Basilarmembran frequenzabhängig ist. Die Wirbel sind oberhalb 4.000 Hz schneckenaufwärts gerichtet, unterhalb 4.000 Hz schneckenabwärts. Im Bereich der 4.000 Hz Perception auf der Basilarmembran findet eine Wirbelumkehr statt. Bei hohen Lärmpegeln ist die Wirbeldrehgeschwindigkeit stark beschleunigt, so daß im Bereich von 4.000 Hz "... die beidseits entgegengesetzt angreifenden Wirbel eine Zerrung der plastisch verformbaren Basilarmembran verursachen" (RÜEDI und FURRER 36). Dies führt bei jahrelanger Lärmeinwirkung zur Schädigung des Corti'schen Organs.

Die Entstehung der c^5 -Senke führt man heute weitgehend auf die besondere hydrodynamische Belastung im Bereich der 4.000 Hz Perception und auf die Empfindlichkeitskurve des Gehörs zurück. Bei Reintonbelastung verbreitert sich die Zone der Erregung mit steigender Lautstärke immer mehr zu den höheren Frequenzen hin. Deshalb bildet sich nach Reintonbelastung das Maximum der Hörsenke meist eine halbe Oktave oberhalb der Reizfrequenz aus (DAVIS u. a. 4). Faßt man Weißes Rauschen als statistisch gleichmäßige Überlagerung reiner Töne auf, so ergibt sich bei steigender Lärmbelastung eine zu den hohen Frequenzen hin zunehmende Energiesummation.

Die größte Empfindlichkeit des menschlichen Ohres liegt zwischen 1.000 und 4.000 Hz. Oberhalb 4.000 Hz nimmt die Schwellenempfindlichkeit stark ab. Bei Lärmbelastung tritt deshalb im Bereich der 4.000 Hz Perception auf der Basilarmembran die größte Belastung auf, die zu der sog. c^5 -Senke führt (LANGENBECK 24; LEHNHARDT 27; MEYER ZUM GOTTESBERGE 30 u. 31).

5. Verlauf der Lärmschwerhörigkeit

Über den Verlauf der Lärmschwerhörigkeit bestehen unterschiedliche Auffassungen, wie z.B.:

- Bei gleichbleibender Lärmexposition zeigt sich oft ein phasenhafter Ablauf der Lärmschwerhörigkeit. Am Anfang beobachtet man eine "Phase der Gewöhnung", in der der Lärmarbeiter über leichte Beschwerden klagt. Doch bald kommt er in die "Phase der besten Verträglichkeit oder Kompensation", die je nach individueller Empfindlichkeit und Schallbelastung über Jahre andauern kann und wobei keine merklichen Hörstörungen auftreten. Eine rasche Zunahme des Hörverlustes zeigt sich in der "Phase des Zusammenbruchs", die in die "Phase der Sättigung" übergeht, in der eine langsamere Zunahme des Hörverlustes nachzuweisen ist (FELDMANN 11; DIEROFF 5 u. 6; WAGEMANN 45).
- Nach einer Untersuchung von SCHREINER u. EDER (38) erreicht der Hörverlust bei 500 Hz und 4.000 Hz nach etwa 15 Lärmjahren eine Sättigung. Bei 2.000 Hz steigt auch nach 15 Lärmjahren der Hörverlust weiter an, was einer Verbreiterung und Vertiefung der c^5 -Senke entspricht.
- Nach SCHNEIDER u. a. (37) schreitet der Hörverlust bei Lärmbelastung allmählich fort. Er findet keinen Anhaltspunkt für ein Plateau nach 10 oder 20 Jahren.
- Nach Untersuchungen von HÜLSE u. a. (16) vergrößert sich der in 5 bis 10 Jahren Lärmarbeit erworbene Hörschaden nur noch um den Faktor der Altersschwerhörigkeit.

6. Lärmbewertung

Seit langem bemüht man sich, Grenzwerte für die Belastbarkeit des Gehörs gegenüber Schallschädigungen, auch bei langjähriger Lärmarbeit zu finden. Die Grenzwerte sollen so beschaffen sein, daß 95 - 98 % der Menschen, die unter Lärmeinwirkung arbeiten, keinen Hörschaden erleiden (LBHN-HARDT 27).

Die VDI-Richtlinie 2058 Blatt 2 (56) hat folgenden Grenzwert ausgearbeitet: "Als Schallpegelrichtwert im Sinne dieser Richtlinie gilt ein Schallpegel (Beurteilungspegel) von 90 dB(A), da bei ununterbrochener jahrelanger Einwirkung von 90 dB(A) während der Arbeitsschicht für einen beträchtlichen Teil der Betroffenen die Gefahr einer Gehörschädigung besteht.

Bei höheren Schallpegeln können Gehörschäden entsprechend früher und nach kürzeren täglichen Einwirkungen eintreten."

Den selben Grenzwert von 90 dB(A) empfehlen auch die Hygiene Standart (54), die International Standartisation Organization (ISO) (55) und die Walsh-Healey Regulation (28).

Als Maß für den Geräuschpegel werden dB(A) angegeben. Bei der A-Bewertungskurve der DIN-Norm 45633 Blatt 1 wird die unterschiedliche Empfindlichkeit des menschlichen Ohres gegenüber den verschiedenen Frequenzanteilen eines Geräusches berücksichtigt. Durch hohe Töne wird das menschliche Ohr stärker geschädigt als durch tiefe Töne.

Bei Dauereinwirkung auch von weniger als 90 dB(A) können schon Gehörschäden auftreten, besonders, wenn Frequenzen über 1.000 Hz überwiegen.

Impulsgeräusche, d.h. Geräusche, deren Pegelschall um mehr als 5 dB über dem mittleren Pegel des Geräusches ansteigt und deren Dauer kurz ist, schädigen das Hörorgan wesentlich mehr als vergleichbarer Dauerlärm. Für die Beurteilung von

Impulslärm ist ein spezieller Impulsschallpegelmesser erforderlich. Das Meßergebnis wird in dB(AI) angegeben.

B. DIE PHYSIOLOGISCHE HÖRERMÜDUNG

Wie jedes Sinnesorgan zeigt auch das Hörorgan eine Adaption. Nach wenigen Millisekunden stellt sich die "Sofortadaption" ein, die wahrscheinlich auf Polarisationsvorgänge an der Zellmembran zurückzuführen ist. Die "Spätadaption", die zur vollständigen Entstehung 4 min und einige Minuten zur Rückbildung braucht, beruht möglicherweise auf Ausbildung eines chemischen Gleichgewichts (DISHOECK 8). Durch die Adaption verringert sich der subjektive Lautheitseindruck, was einer Erhöhung der Hörschwelle entspricht, und verschärfen sich die Einzelwahrnehmungen, was eine Erniedrigung der Intensitätsunterschiedsschwelle bedeutet.

Die Hörermüdung stellt eine unphysiologische Erschöpfung des Adaptionsmechanismus dar. Sie bewirkt eine Erhöhung der Hörschwelle und mindert die Unterschiedsempfindlichkeit. Die Hörermüdung tritt nach Einwirkung von lauten Tönen oder Geräuschen ein und manifestiert sich in einer reversiblen Schwellenabwanderung (temporary threshold shift TTS) im Audiogramm (DISHOECK 8; KEIDEL 19).

Nach Einwirkung eines schädigenden Tones zeigt sich eine "Lautsenkung" ("Laut-dip") mit einem Maximum $1/2$ Oktave über der Frequenz des schädigenden Tones. Ebenso liegt bei einem Oktavbandgeräusch das Maximum der Lautsenkung $1/2$ Oktave oberhalb des Zentrums des Geräuschbandes. Nach Belastung mit Breitbandrauschen oder Weißem Rauschen zeigt sich die größte Schwellenabwanderung bei einer Frequenz von 4.000 bis 6.000 Hz (DAVIS u. a. 4; DISHOECK 8; LEHNHARDT 25; RÜEDI 35).

Das Ausmaß der Schwellenabwanderung ist abhängig von der Frequenzbandbreite des Geräusches. Ein schmalbandiges Geräusch wirkt relativ stärker traumatisierend als ein breitbandiges Geräusch mit gleichem Schalldruck. Reine Töne belasten das Ohr am stärksten (DISHOECK 8; DOPPLER u. a. 9; KRYTER u. a. 23).

Das Hörorgan ist für die verschiedenen Frequenzen unterschiedlich empfindlich.

- DISHOECK (8) nennt dafür 3 Gründe:

1. Die traumatisierende Wirkung eines Tones wird von der Hörschwelle an gemessen, die für die hohen und tiefen Töne wesentlich höher liegt als für mittlere.
2. Höhere Töne sind energiereicher, so daß die Schädigungsgrenze eher erreicht wird.
3. Die Schutzwirkung der kleinen Mittelohrmuskeln hört oberhalb von 1.000 bis 2.000 Hz auf.

Daraus folgt, daß hohe Frequenzen eine relativ größere Hörermüdung verursachen als tiefe.

- In den Untersuchungen über die "Relation of Hearing Loss to Noise Spectrum" befaßt sich Plomp u. a. (33) mit der "relative traumatizing power" der verschiedenen Frequenzen: "From these data isotraumatic lines are derived, representing as a function of frequency the sound-pressure levels which give equal threshold shifts. These lines have a minimum at about 3600 cps with steep slopes below and above this frequency."

- WARD u. a. (47) fand die größte Schwellenabwanderung bei 4.000 Hz nach Belastung mit Oktavbandrauschen der Frequenzen 2.400 bis 4.800 Hz oder 1.200 bis 2.400 Hz. Bei niedrigeren Testfrequenzen und bei Oktavbandrauschen mit niedriger Mittelfrequenz fand er eine geringere Schwellenabwanderung.

Ein besonderes Phänomen stellt Impulslärm dar:

- Bei kurz aufeinanderfolgenden Impulsen (Periodendauer unter 1 sec) erfolgt die Vertäubung wie bei einem Dauergeräusch. "Das kann damit erklärt werden, daß sich in der relativ kurzen Pause zwischen 2 Impulsen der 'akustische Reflex' nicht wesentlich zurückbildet, so daß das Gehör immer als geschützt zu betrachten ist." (WEISSING 52)

Der akustische Reflex ist die reflektorische Kontraktion der Mittelohrmuskeln - des m. tensor tympani und m. stapedius - durch laute, besonders in den tieferen Frequenzen liegende Töne und Geräusche. Dadurch wird das Übertragungsmaß des Mittelohres herabgesetzt und die Rezeptoren im Innenohr in gewissem Umfang geschützt. Dieser Reflex arbeitet mit einer gewissen Trägheit, so daß er nach Einsetzen der Lärmbelastung erst mit einer zeitlichen Verzögerung wirksam wird (GANONG 14; KLOSTER-KÖTTER 20 u. 21; WEISSING 52).

- Bei kurzen Schallimpulsen mit hohen Spitzenwerten (um oder über 130 dB) und großen Unterbrechungsintervallen bei lärmender Umgebung zeigt sich eine wesentlich stärkere gehörschädigende Wirkung als bei einem vergleichbaren Dauergeräusch. Man erklärt sich dieses Phänomen mit der "Trägheit des akustischen Reflex". Wegen der Kürze der Impulse kann die Schutzwirkung der Mittelohrmuskeln nicht wirksam werden.
- Bei Impulsen, die mit größerem zeitlichen Abstand aufeinanderfolgen, ist bei Umgebungslärm die gehörschädigende Wirkung nur unbedeutend größer als bei einem Dauergeräusch mit gleichem Effektivwert. Das Dauergeräusch löst den akustischen Reflex aus. Somit trifft der Impulslärm nicht auf das ungeschützte Ohr. Das gleiche Ergebnis erreicht man, wenn man den Impuls einen Ton vorschaltet (WEISSING 52).

C. PROBLEMSTELLUNG

Die vorübergehende Schwellenabwanderung (temporary threshold shift TTS) als Ausdruck der Hörermüdung wird als Vorstadium für einen bleibenden Hörverlust angesehen. Die Schwellenabwanderung kann sich in den Lärmpausen wieder völlig zurückbilden. Reicht die lärmfreie Zeit zur Erholung nicht aus oder war der Hörverlust zu hoch, so ist die Hörschwelle bei erneuter Lärmbelastung noch erhöht. Bei weiterer Lärmbelastung kann es zu einer bleibenden Hörschwellenverschiebung (permanent threshold shift PTS) kommen (LEHNHARDT 25; PLOMP u. a. 33; WEISSING 53).

Zur Verhinderung von bleibenden Hörschäden wäre es optimal, wenn die lärmbedingte Schwellenabwanderung in der lärmfreien Zeit bis zum erneuten Arbeitsbeginn völlig abgeklungen ist. Dazu ist es nötig, den zeitlichen Verlauf der Schwellenabwanderung unter Lärmbelastung und die Rückbildung der Schwellenabwanderung zu kennen.

Lärmpausen vermindern die Gefahr von Gehörschäden. So konnten SCHRÖDER u. REMPT (39) nachweisen, daß sich die Schwellenabwanderung nach Arbeitsende dann schneller zurückbildet, wenn die tägliche Lärmexposition durch drei kürzere "Lärmruhen" nach je zwei Arbeitsstunden unterbrochen wird.

Der Schallpegel in der Lärmpause darf nach der VDI-Richtlinie (56) 75 dB(A) nicht überschreiten. "Lärmpause im Sinne dieser Richtlinie ist ein Zeitraum, in dem sich das Gehör von vorangegangenen Geräuscheinwirkungen erholen kann, d.h. in dem eine vorübergehende Hörminderung (TTS) teilweise oder ganz abklingen kann. Der zulässige Pausenpegel beträgt höchstens 75 dB(A)." (56) In der Praxis kann aber selten dieser höchstzulässige Pausenpegel unterschritten werden. Während der Arbeitsschicht kann jedoch zumindest zeitweise eine Pegelminderung um 10 bis 20 dB erreicht werden.

Die vorliegende experimentelle Untersuchung hat deshalb zum Ziel:

- den genauen zeitlichen Verlauf der Schwellenabwanderung und die Hörerholung in Ruhe
 - den Verlauf der Hörerholung unter weiterer Geräuschbelastung
 - die Abhängigkeit der Schwellenrückbildung von den Entstehungsfaktoren
- festzustellen.

D. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

1. Versuchsaufbau

Die Versuche wurden in einem schallisolierten Raum vorgenommen, in dem normalerweise Audiogramme erstellt werden. Das Vertäubungsgeräusch war ein Breitbandrauschen mit gleicher Intensität in den Frequenzen von 30 Hz bis 16.000 Hz. Es wurde von einem Rauschgenerator erzeugt und auf ein Tonband UHER VARIOCORD 263 stereo überspielt.

Die Kalibrierung erfolgte mit einem Präzisionsschallpegelmesser Typ 2203 von Brüel und Kjaer über einen 6 ccm Kuppler. Zur Einstellung der Lautstärke wurde ein Meßverstärker verwendet.

Die Vertäubung erfolgte über einen Beyer Kopfhörer DT 485 mit linearem Frequenzgang. Beide Ohren wurden gleichmäßig vertäubt.

Zur Messung der Hörschwelle und der Hörminderung wurde ein Atlas Audiometer verwandt.

Die Versuchspersonen waren junge Leute zwischen 20 und 30 Jahren, mit einem Durchschnittsalter von 24 Jahren. Es waren vorwiegend Studenten oder Berufstätige mit Berufen ohne übermäßige Lärmbelastung (z.B.: Bürotätige, Lehrer). Bedingung war, daß auf beiden Ohren normal gehört wurde. Eine Abweichung von 10 dB wurde zugebilligt.

Vor jedem Versuch wurde von allen Versuchspersonen ein vollständiges Audiogramm für beide Ohren erstellt. Es zeigten sich geringe Schwankungen in der Ruhehörschwelle, die wohl auf die unterschiedliche psychische Verfassung zurückzuführen sind. Eine bleibende Hörschwellenerniedrigung wurde nicht beobachtet, auch keine Restvertäubung von vorangegangenen Versuchen. Die Probanden hatten sich also zwischen den einzelnen Versuchen vollständig erholt.

WARD u. a. (46) haben in einer Studie zwei Stunden mit einem Schallpegel von 100 dB vertäubt und die Schwellenabwanderung (TTS_2) bei 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 6 kHz gemessen. Diese Studie zeigte, daß bei 3 kHz, 4 kHz, 6 kHz die Schwellenabwanderung sehr ähnlich war. Bei den Frequenzen 1 kHz, 2 kHz ergab sich ein völlig anderes Bild.

Deshalb wurde auch in meinem Versuch die Schwellenabwanderung bei 1 kHz und 4 kHz gemessen.

Die folgende Tabelle enthält die Ergebnisse des Versuches I.

Tab. I

Meß- frequenz	Geräusch- pegel	Schwellenabwanderung (TTS_2) in dB nach (min)							
		2	4	6	8	15	30	60	100
4000 Hz	Gruppe A 90 dB	2,0	3,5	4,0	5,0	7,0	9,0	11,0	14,0
	Gruppe B 100 dB	5,0	9,0	10,0	11,0	15,0	23,0	24,0	-
1000 Hz	Gruppe A 90 dB	0,0	1,0	1,5	2,0	3,5	4,5	5,5	6,5
	Gruppe B 100 dB	3,5	4,0	4,0	4,5	7,0	8,5	9,5	-

Abbildung 1 stellt die Ergebnisse der Schwellenabwanderung (TTS_2) nach Belastung mit Breitbandrauschen bei einer Frequenz von 4 kHz dar. Es zeigt sich, daß sowohl bei einem Geräuschpegel von 90 dB als auch bei einem Geräuschpegel von 100 dB in der initialen Phase der Vertäubung relativ schnell eine große Schwellenabwanderung (TTS_2) erreicht wird. Im späteren Zeitverlauf nimmt die Schwellenabwanderung (TTS_2) nicht mehr stark zu. Die Kurven zeigen einen etwa exponentiellen Verlauf.

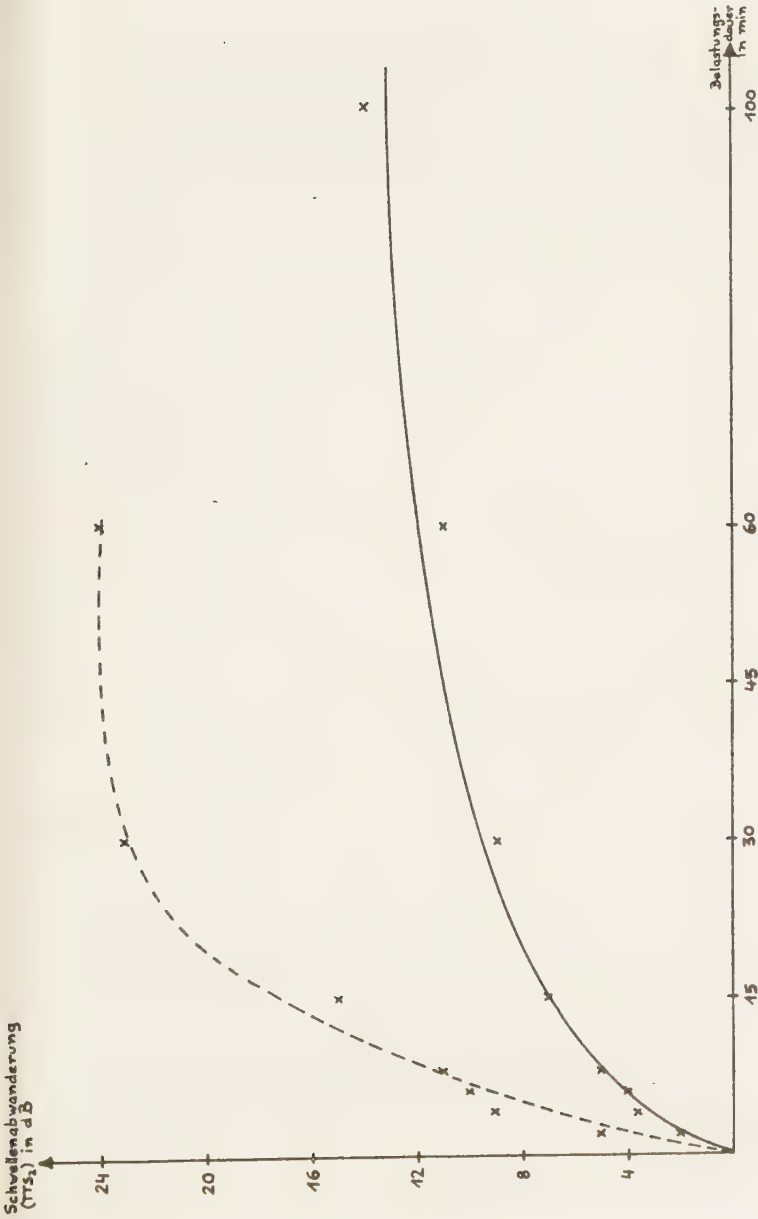


Abb. 1 Die Schwellenabwanderung (TTS_2) nach Belastung mit Breitbandrauschen bei einer Frequenz von 4.000 Hz

— Gruppe A (Geräuschpegel: 90 dB)

- - - - - Gruppe B (Geräuschpegel: 100 dB)

In Abbildung 2 wurde die Belastungszeit, gemessen in min, auf eine logarithmische Skala und die Schwellenabwanderung (TTS_2), gemessen in dB, auf eine lineare Skala aufgetragen. Sowohl für Gruppe A (Geräuschpegel: 90 dB) als auch für Gruppe B (Geräuschpegel: 100 dB) ergibt sich eine Gerade.

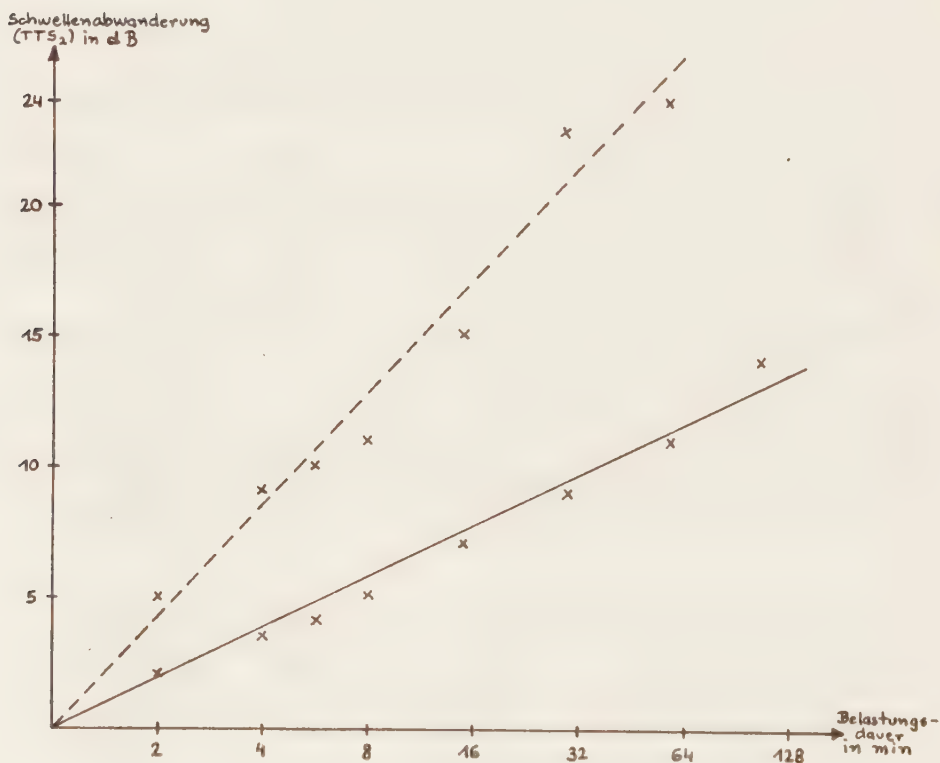


Abb. 2 Die Schwellenabwanderung (TTS_2) nach Belastung mit Breitbandrauschen bei 4.000 Hz. Die Belastungsdauer ist auf einer logarithmischen Skala, die Schwellenabwanderung (TTS_2) auf einer linearen Skala aufgetragen.

— Gruppe A (Geräuschpegel: 90 dB)

- - - - - Gruppe B (Geräuschpegel: 100 dB)

Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse der Schwellenabwanderung (TTS_2) nach Belastung mit Breitbandrauschen bei einer Meßfrequenz von 1 kHz. Wenn die Belastungsdauer auf eine logarithmische Skala und die Schwellenabwanderung auf eine lineare Skala aufgetragen wird, so ergibt sich auch hier sowohl für Gruppe A (Geräuschpegel: 90 dB) als auch für Gruppe B (Geräuschpegel: 100 dB) eine Gerade. Die Steigung der beiden Geraden ist jedoch wesentlich geringer als bei der Meßfrequenz von 4 kHz.

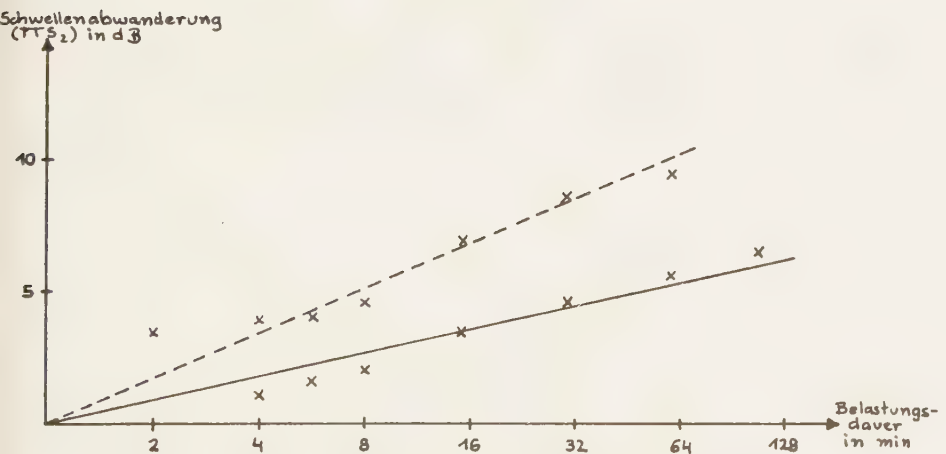


Abb. 3 Die Schwellenabwanderung (TTS_2) nach Belastung mit Breitbandrauschen bei 1.000 Hz. Die Belastungsdauer ist auf einer logarithmischen Skala, die Schwellenabwanderung auf einer linearen Skala aufgetragen.

———— Gruppe A (Geräuschpegel: 90 dB)

- - - - - Gruppe B (Geräuschpegel: 100 dB)

Versuch II: Die Rückbildung der Schwellenabwanderung in Ruhe

10 weitere Personen wurden folgendermaßen getestet:

Vorversuch, der eine Schwellenabwanderung (TTS_2) von etwa 15 dB erzeugen sollte:

Gruppe A (5 Personen):

- Geräuschpegel: 90 dB
- Belastungsdauer: 100 min

Gruppe B (5 Personen):

- Geräuschpegel: 100 dB
- Belastungsdauer: 15 min

Nach erfolgtem Vorversuch wurde bei beiden Gruppen die Rückbildung der Schwellenabwanderung in Ruhe bei einer Frequenz von 4 kHz nach folgenden Zeiträumen gemessen:

2 min
4 min
8 min
16 min
32 min
48 min
64 min

Die folgende Tabelle enthält die Ergebnisse des Versuches II.

Tab. II

Vorversuch	Rückbildung der Schwellenabwanderung in Ruhe in dB nach (min)						
	2	4	8	16	32	48	64
Gruppe A Geräusch- pegel: 90 dB Belastungsdauer: 100 min	14,0	12,5	9,5	6,5	4,5	2,0	1,0
Gruppe B Geräusch- pegel: 100 dB Belastungsdauer: 15 min	16,0	14,0	11,0	9,0	5,0	3,5	1,0

Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse der Ruherholung. Der Vorversuch ergab bei Gruppe A (Geräuschpegel : 90 dB, Belastungsdauer: 100 min) gegenüber Gruppe B (Geräuschpegel: 100 dB, Belastungsdauer: 15 min) eine etwas geringere Schwellenabwanderung. Der Kurvenverlauf ist jedoch bei beiden Gruppen etwa gleich und zeigt einen exponentiellen Charakter.

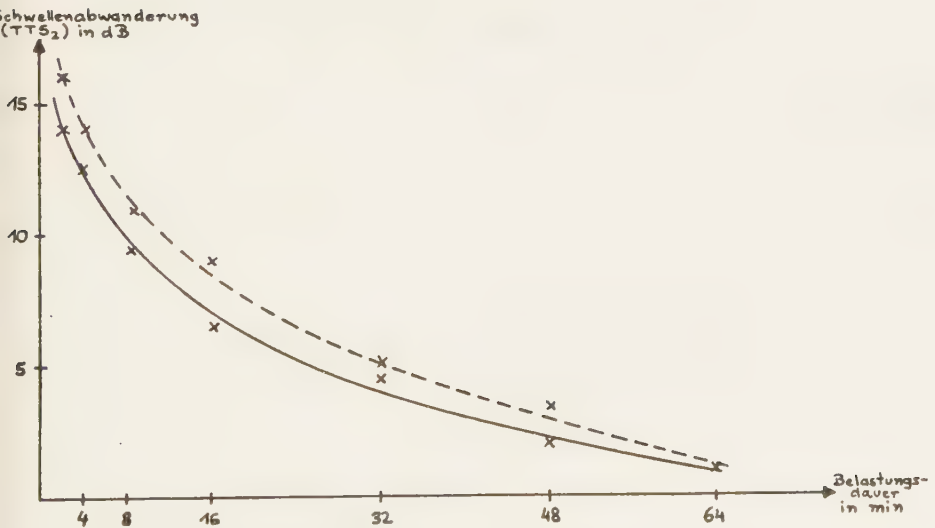


Abb. 4 Die Rückbildung der Schwellenabwanderung in Ruhe bei einer Frequenz von 4.000 Hz.

- Gruppe A (Vorversuch: Geräuschpegel: 90 dB
Belastungsdauer: 100 min)
- - - - - Gruppe B (Vorversuch: Geräuschpegel: 100 dB
Belastungsdauer: 15 min)

In Abbildung 5 wurde die Zeit auf eine logarithmische Skala und die Rückbildung der Schwellenabwanderung auf eine lineare Skala aufgetragen. Es ergeben sich zwei Geraden, die die gleiche Steigung haben. durch diese Darstellung ist es möglich, das Erreichen der Ruhehörschwelle genau festzuhalten. Auf Grund der unterschiedlichen Ausgangswerte ergibt sich für

- Gruppe A (Geräuschpegel: 90 dB, Belastungsdauer: 100 min)
eine Rückbildungsdauer von 90 min
- und für
- Gruppe B (Geräuschpegel: 100 dB, Belastungsdauer: 15 min)
eine Rückbildungsdauer von 110 min.

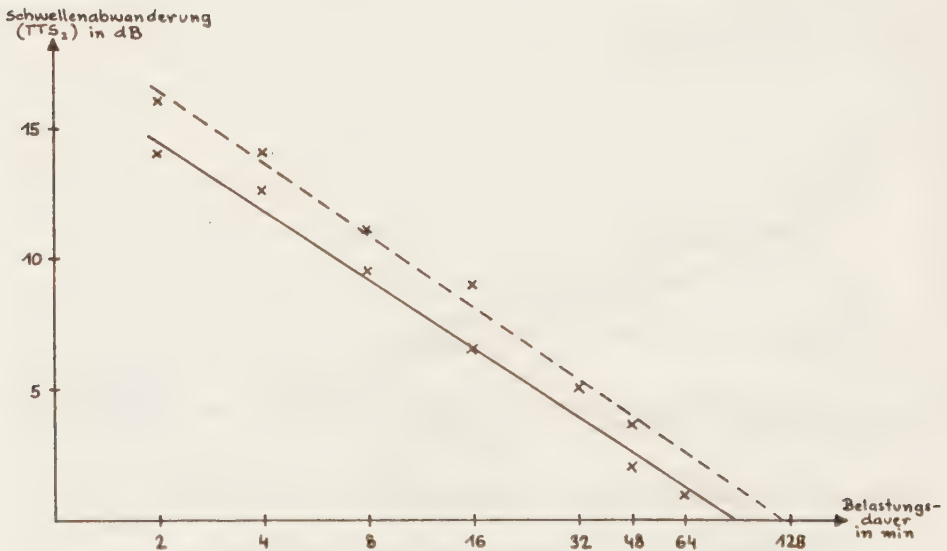


Abb. 5 Die Rückbildung der Schwellenabwanderung in Ruhe bei einer Frequenz von 4.000 Hz. Die Belastungsdauer ist auf einer logarithmischen Skala, die Schwellenabwanderung auf einer linearen Skala aufgetragen.

- Gruppe A (Vorversuch: Geräuschpegel: 90 dB
Belastungsdauer: 100 min)
- - - - Gruppe B (Vorversuch: Geräuschpegel: 100 dB
Belastungsdauer: 15 min)

Versuch III: Die Rückbildung der Schwellenabwanderung unter
Nachbelastung

10 Personen des Versuches I und 5 andere Personen wurden
folgendermaßen getestet:

Gruppe A (5 Personen):

Vorversuch, der ein TTS_2 von etwa 15 dB erzeugen
sollte:

- Geräuschpegel: 90 dB
- Belastungsdauer: 100 min

Nachbelastung:

- Geräuschpegel: 80 dB
- Messung der Rückbildung der Schwellenabwanderung nach:
2 min, 4 min, 8 min, 15 min, 30 min
und 60 min

Gruppe B (5 Personen):

Vorversuch:

- Geräuschpegel: 100 dB
- Belastungsdauer: 15 min

Nachbelastung:

- Geräuschpegel: 80 dB
- Messung nach:
2 min, 4 min, 8 min, 15 min, 30 min
und 60 min

Gruppe C (5 Personen):

Vorversuch: wie Gruppe B

Nachbelastung:

- Geräuschpegel: 90 dB
- Messung nach:
2 min, 4 min, 8 min, 15 min, 30 min
und 60 min

Die folgende Tabelle enthält die Ergebnisse des Versuches III.

Tab. III

Vorversuch	Nachbelastung	Rückbildung der Schwellenabwanderung unter Nachbelastung in dB nach (min)					
		2	4	8	15	30	60
Gruppe A Geräusch- pegel: 90 dB Belastungs- dauer: 100 min	Geräusch- pegel: 80 dB	14,5	9,5	11,5	5,0	7,0	8,5
Gruppe B Geräusch- pegel: 100 dB Belastungs- dauer: 15 min	Geräusch- pegel: 80 dB	15,0	12,0	12,0	7,0	8,0	7,0
Gruppe C Geräusch- pegel: 100 dB Belastungs- dauer: 15 min	Geräusch- pegel: 90 dB	15,0	14,5	13,0	15,0	14,0	14,0

Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse der Rückbildung einer Schwellenabwanderung von etwa 15 dB unter Nachbelastung. Der Verlauf der Hörerholung ist bei Gruppe A und bei Gruppe B sehr ähnlich. Beide Kurven zeigen bei 4 min und 15 min Minima, d.h. eine relativ gute Hörerholung zu diesem Zeitpunkt. Nach diesen Minima steigt die Hörschwelle jedoch jeweils wieder an. Nach 30 min ist ein Wert erreicht, der zwar niedriger als die im Vorversuch erzeugte TTS₂ von 15 dB ist, die Ruhehörschwelle jedoch nicht erreicht und sich innerhalb der Beobachtungszeit von 60 min nicht mehr wesentlich ändert.

Die Kurve der Gruppe C weist leichte Schwankungen auf, mit einem Minimum bei 8 min. Unter Nachbelastung von 90 dB tritt weder eine Verbesserung noch Verschlechterung der Hörschwelle ein.

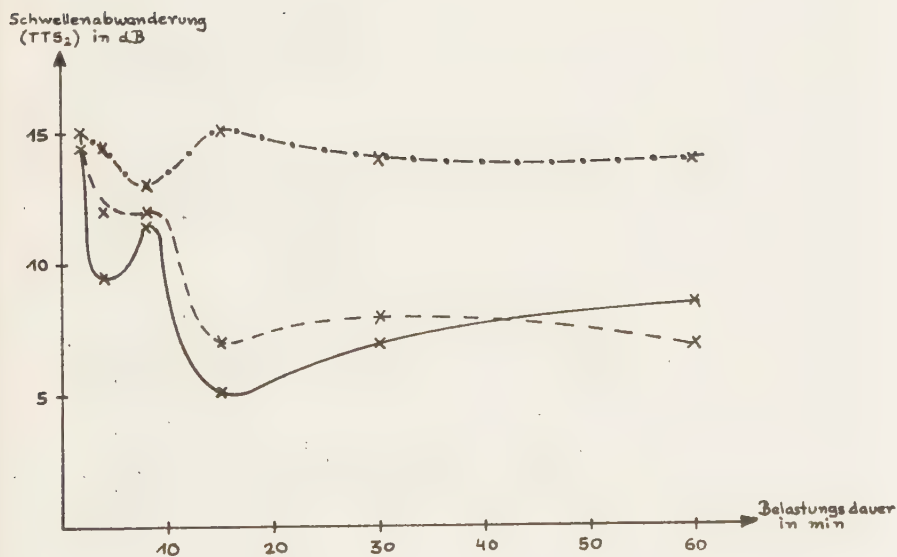


Abb. 6 Die Rückbildung der Schwellenabwanderung unter Nachbelastung bei einer Frequenz von 4.000 Hz.

- Gruppe A (Vorversuch: Geräuschpegel: 90 dB
Belastungsdauer: 100 min
Nachbelastung: Geräuschpegel: 80 dB)
- - - - - Gruppe B (Vorversuch: Geräuschpegel: 100 dB
Belastungsdauer: 15 min
Nachbelastung: Geräuschpegel: 80 dB)
- · - · - · Gruppe C (Vorversuch: Geräuschpegel: 100 dB
Belastungsdauer: 15 min
Nachbelastung: Geräuschpegel: 90 dB)

E. AUSWERTUNG UND VERGLEICH MIT DER LITERATUR

Die Schwellenabwanderung nach Belastung mit Breitbandrauschen nimmt in den ersten Minuten rasch zu. Die weitere Zunahme der Schwellenabwanderung ab einer Stunde ist wesentlich geringer. Daraus folgt, daß die ersten Minuten in lärmreicher Umgebung am gefährlichsten für das Gehör sind. Bei weiterer Lärmexposition ist das Gehör an den Lärm adaptiert. Die Ermüdung schreitet langsam fort.

Dieses Ergebnis zeigt auch Übereinstimmung mit den subjektiven Empfindungen der Testpersonen. Die ersten Minuten der Lärmbelastung wurden immer als unangenehm empfunden, später gewöhnten sich die Probanden an den Lärm.

Daraus ergibt sich als Konsequenz für die Praxis, eine Lärmpause, wenn möglich, schon in die erste Arbeitsstunde zu legen, um das Ausmaß der Schwellenabwanderung zu reduzieren.

Die Ergebnisse meiner Versuche über die Hörschwellenabwanderung zeigen eine gewisse Übereinstimmung mit Versuchen von WARD u. a. (46):

WARD belastet Versuchspersonen mit Breitbandrauschen und mißt die Schwellenabwanderung nach 2 min (TTS_2) bei 4 kHz in Abhängigkeit von Intensität und Zeit. Er stellt eine Formel auf, bei der die TTS_2 zur Belastungszeit in einem logarithmischen und zum Belastungspegel in einem direkten linearen Verhältnis steht. Eine Bestätigung dieser Formel ergibt sich in meinen Versuchen. WARD's Messungen beginnen jedoch erst nach 12 min, so daß die frühe Phase der Schwellenabwanderung nicht erfaßt wird.

WARD's Untersuchungen (46) zeigen eine relativ höhere Schwellenabwanderung. So wurde nach einer 12 min Belastung mit einem Schallpegel von 100 dB eine TTS_2 von 16,3 dB und

nach 102 min eine TTS_2 von 29,6 dB gemessen. Demgegenüber ergaben meine Versuche mit 100 dB nach 15 min Belastung eine TTS_2 von 15 dB und nach 100 min Belastung eine TTS_2 von 25 dB.

Diese Unterschiede lassen sich

- durch die unterschiedliche Lärmzusammensetzung (WARD: Breitbandrauschen von 75 bis 10.000 Hz - meine Versuche: Breitbandrauschen von 30 bis 16.000 Hz)
- durch eventuell unterschiedliche Auswahl der Personen (WARD: Versuchspersonen mit einem Gehör, das audiometrisch normal oder besser als normal in allen Frequenzen war - meine Versuche: Eine Hörschwellenverschiebung bis zu 10 dB war erlaubt)
- durch einen unterschiedlichen Versuchsaufbau und -ablauf erklären.

Bei 1.000 Hz ist die Schwellenabwanderung wesentlich geringer als bei 4.000 Hz. Eine Vertäubung mit 100 dB erzeugt bei 4.000 Hz ein TTS_2 von 25 dB, bei 1.000 Hz dagegen nur eine Vertäubung von 9,5 dB. Dies zeigt eine gute Übereinstimmung mit dem audiometrischen Bild der Lärmschwerhörigkeit. Bei den Frequenzen um 4.000 Hz bildet sich eine bleibende Hörschwellenverschiebung früher aus als bei niedrigeren Frequenzen. Damit wird der enge Zusammenhang, der zwischen vorübergehender Schwellenabwanderung und bleibendem Hörverlust besteht deutlich. Es ist also durchaus nützlich, Versuche über den reversiblen Hörverlust durchzuführen, um klare Vorstellungen über den irreversiblen Hörschaden zu gewinnen.

Die Rückbildung der Schwellenabwanderung in Ruhe verläuft ebenso wie die Hörermüdung linear zu dem Logarithmus der Zeit.

Nur in der frühen Phase der Hörerholung, also innerhalb der ersten 2 min, ist die Rückbildung der Schwellenabwanderung unregelmäßig. Die Rückbildung zeigt hier einen polyphasischen Verlauf, was man als "Bounce"-Phänomen bezeichnet. WARD u. a. (46) führt dazu aus: "...an initial rapid recovery is following by a secondary rise in TTS that reaches its maximum in about 1,5 to 2,5 min". (BOTSFORD 3; HIRSH u. BILGER 15; SPIETH u. TRITTIPOE 43)

Bei Vergleichen mit der Literatur über die Hörerholung in Ruhe zeigen sich unterschiedliche Ergebnisse. Nach einer TTS_2 von 20 dB erfolgt bei WARD u. a. (46) die vollkommene Rückbildung der Schwellenabwanderung nach fast 500 min, bei SCHWETZ u. a. (41) jedoch bereits nach etwas mehr als 120 min. In meinen Versuchen bildet sich eine TTS_2 von 15 dB in etwa 90 bis 100 min zurück. Bei WARD u. a. (46) ist nach der gleichen Zeit noch eine Restvertäubung von etwa 4 dB vorhanden.

Diese unterschiedlichen Ergebnisse werfen die Frage auf, ob die Rückbildung der Schwellenabwanderung nicht von ihren Entstehungsfaktoren, wie Intensität und Dauer der Belastung, abhängig ist. In meinen Versuchen wurde mit zwei unterschiedlichen Belastungen (Gruppe A: Geräuschpegel 90 dB, Belastungsdauer 100 min - Gruppe B: Geräuschpegel 100 dB, Belastungsdauer 15 min) eine TTS_2 von etwa 15 dB erzeugt. Die Rückbildungskurven beider Gruppen gleichen sich trotz unterschiedlicher Entstehungsfaktoren, d.h., daß kein Unterschied im Verlauf der Hörerholung besteht.

In meinen Versuchen wird die Schwellenabwanderung durch Breitbandrauschen erzeugt. WARD u. a. (48) findet, daß auch bei Belastung mit Oktavbandrauschen die Hörerholung ab 2 min unabhängig von Intensität und Dauer der Belastung ist. Darüberhinaus ergibt sich bei ihm in einer anderen Versuchsreihe (50), daß der Verlauf der Hörerholung nach Belastung mit

Impulslärm oder Breitbandrauschen gleich, also unabhängig von der verwendeten Expositionsart, ist. "Apparently, then, the two different types of exposure do not produce different types of underlying physiological malfunction" (WARD u. a. 50).

SMITH u. LOEB (42), die nur Impulslärm zur Erzeugung der Schwellenabwanderung verwenden, gelangen zum Ergebnis, daß die Rückbildung der Schwellenabwanderung nach Impulslärm unabhängig von Test- und Expositionsfrequenz ist.

Aus der eigenen Versuchsreihe und der von WARD u. a. (48 u. 50), SMITH u. LOEB (42) ergibt sich somit: Der Verlauf der Hörerholung nach 2 min ist unabhängig sowohl von Dauer und Schallpegel als auch von der verwendeten Art der vorangehenden Exposition.

Die Rückbildung der Schwellenabwanderung unter Nachbelastung zeigt eine deutliche Verzögerung gegenüber der Rückbildung der Schwellenabwanderung in Ruhe.

Bei einer Nachbelastung von 90 dB kann man praktisch nicht mehr von einer Hörerholung sprechen. Es tritt zwar bei einem Zeitpunkt von 8 min eine Verbesserung der Hörschwelle ein, doch diese ist nur vorübergehend. Im weiteren Verlauf stellt sich das Gehör auf einen gleichbleibenden Wert ein, der etwa dem Ausgangswert von 15 dB Hörschwellenverschiebung entspricht. Eine Verschlechterung der Hörschwelle ergibt sich jedoch in dem Beobachtungszeitraum von 60 min nicht.

Das Ergebnis ist insofern wichtig, als 90 dB in der VDI-Richtlinie (56) der Grenzwert ist, ab dem ein bleibender Hörschaden zu erwarten steht. Eine Pegelminderung auf 90 dB während einer Arbeitspause ist deshalb nicht als ausreichend anzusehen, da ein Dauerlärm von 90 dB zur Erzeugung eines bleibenden Lärm-schadens zumindest teilweise schon ausreicht.

Bei einer Nachbelastung von 80 dB kann man dagegen eine gewisse Hörerholung feststellen. Ab 30 min Nachbelastung ist jedoch keine wesentliche Rückbildung der Schwellenabwanderung innerhalb der Beobachtungszeit von 60 min mehr festzustellen.

Der Vergleich der eigenen mit anderen Untersuchungen ergibt einige Unterschiede:

- LEHNHARDT und BÜCKING (26) und KÖCHERMANN (22) untersuchen die Rückbildung der Schwellenabwanderung bei einem "Ruhe"-pegel von 70 dB und 80 dB Weißen Rauschen. Bei einem Pegel von 70 dB können sie feststellen, daß die Rückbildung annähernd wie unter Ruhebedingungen verläuft. Bei einem Pegel von 80 dB zeigt sich jedoch auch bei ihnen eine Verzögerung der Hörerholung. Bis zu 16 min tritt eine Hörerholung ein, bei 30 min wieder eine Verschlechterung, die nach 60 min in einen gleichbleibenden Wert übergeht. Dieser liegt um 5 bis 10 dB niedriger als die anfängliche TTS_2 von 30 dB. In den eigenen Versuchen zeigt sich ebenfalls anfänglich eine Hörerholung, der eine Verschlechterung der Hörschwelle folgt. Es stellt sich auch gegen Ende der Belastungszeit ein gleichbleibender Wert ein, der ebenso um 5 bis 10 dB niedriger liegt als die anfängliche TTS_2 von 15 dB. Der gleichbleibende Wert wird jedoch in meinen Versuchen schon nach 30 min erreicht.
- SCHWETZ u. a. (41) untersucht die Rückbildung der Schwellenabwanderung bei einer Nachbelastung von 75 dB und 85 dB. Es zeigt sich bis zu 64 min eine fortschreitende, wenn auch im Vergleich zur Ruhe etwas verzögerte Hörerholung, sowohl bei 75 dB als auch bei 85 dB. Im Laufe der zweiten Stunde schreitet die Hörerholung nur noch bei einer Lärmeinwirkung von 75 dB fort, bei 85 dB bleibt die Hörschwelle auf dem gleichen Niveau.

- WARD u. a. (49) belastet zunächst mit 105 dB, dann mit 95 dB Oktavbandrauschen von 1.200 bis 2.400 Hz. Bei Nachbelastung mit 95 dB tritt in den ersten 30 min eine zeitweilige Rückbildung der Schwellenabwanderung ein, die von einer weiteren Verschlechterung der Hörschwelle gefolgt wird. Auch bei WARD zeigt sich somit nach 30 min eine Wende im Verlauf der Hörerholung. Durch die höhere Belastung mit 95 dB verschlechtert sich bei ihm jedoch die Hörschwelle wieder, während bei meinen Versuchen die Hörschwelle auf dem gleichen Niveau bleibt.

Bei Auswertung aller bisherigen Untersuchungen über die Rückbildung der Schwellenabwanderung unter Nachbelastung ergibt sich somit:

Bis zu einem Schallpegel von 70 dB Nachbelastung verläuft die Hörerholung fast wie unter Ruhebedingungen (LEHNHARDT u. BÜCKING 26; KÖCHERMANN 22). Nach SCHWETZ u. a. (41) setzt ab 75 dB Nachbelastung eine deutliche Verzögerung der Hörerholung ein. Bei einem Nachbelastungspegel von 80 dB erfolgt nach eigenen Untersuchungen eine Erholung nur bis zu 30 min - nach LEHNHARDT u. BÜCKING (26) bis zu 60 min -; dann läßt sich keine Hörerholung mehr nachweisen. SCHWETZ u. a. (41) stellt bei einem Pegel von 85 dB noch eine geringe Hörerholung fest. Ab einem Nachbelastungspegel von 90 dB findet nach eigenen Untersuchungen überhaupt keine Hörerholung mehr statt.

Für die Praxis ergibt sich daraus, den Lärmpegel, wenn möglich, bis zu 70 dB zu senken, weil nur so eine Rückbildung der Schwellenabwanderung wie unter Ruhebedingungen gewährleistet ist. Schon ab einem Pausenpegel von 75 dB tritt eine Verzögerung der Hörerholung ein. Ab einem Pegel von 80 dB kann man nicht mehr von einer echten Lärmpause sprechen.

Diese Ergebnisse sollen im folgenden einigen bestehenden Richtlinien über Lärmpausen gegenüber gestellt werden: Die CHABA-Studie (51) schlägt vor, daß in der Lärmpause

80 dB (A) für mehr als 5 min und mehr als 20 % der Dauer der vorhergehenden Einwirkungszeit unterschritten werden soll. Auch nach den ISO-Empfehlungen (55) gelten Geräusche mit einem Pegel unter 80 dB (A) als Lärmpausen. Diese Lärmpausenpegel würde ich als zu hoch angesetzt werten. Die VDI-Richtlinie (56) stellt schärfere Anforderungen. Sie läßt nur einen Lärmpausenpegel bis zu 75 dB (A) zu. Somit würde ich nur die Empfehlungen der VDI-Richtlinie im vorsorgemedizinischen Sinne als ausreichend ansehen.

F. DISKUSSION VON "LÄRMPAUSEN"-BEISPIELEN IN DER INDUSTRIE

Echte Lärmpausen mit einem Pausenpegel unter 70 bis 75 dB (A) sind in der Industrie nur selten anzutreffen. Als Beispiel für echte Lärmpausen möchte ich hier die Sandstrahlerei in einer Maschinenfabrik anführen. Während einer Arbeitsschicht von acht Stunden sind die Arbeiter insgesamt etwa fünf Stunden einem Schallpegel von 97 dB (A) ausgesetzt und zwar während 1 1/2 bis 2 Stunden Lärmarbeit, auf die eine einstündige Lärmpause mit einem Pausenpegel unter 70 dB (A) folgt. In dieser Zeit und in der etwa 14 stündigen Freizeit kann sich die Hörschwellenverschiebung soweit zurückbilden, daß ein bleibender Hörschaden weitgehend verhindert werden kann.

Häufig ist jedoch der Lärmpausenpegel so hoch, daß keine Hörerholung möglich ist. In der Schweißerei dieser Maschinenfabrik herrscht ein Spitzenpegel von 110 dB (A) und ein Pausenpegel von 89 dB (A). Ein Lärmzyklus dauert 30 sec, bei insgesamt 100 Lärmzyklen pro Arbeitsschicht. Wäre es möglich den Lärmpausenpegel auf 70 dB (A) zu senken, so wäre eine echte Hörerholung in der Lärmpause möglich und ein bleibender Hörschaden könnte verhindert werden.

Als weiteres Beispiel sei auf die Schallpegelmessungen eines Werkes der Flugzeugindustrie hingewiesen. Nur in wenigen Arbeitsbereichen gibt es hier konstante Dauerschallpegel. In den meisten Arbeitsbereichen wechselt der Lärmpegel ständig. Die Arbeitsplätze liegen in großen Fabrikhallen, in denen mehrere Arbeitsgänge gleichzeitig ausgeführt werden. Die einzelnen Arbeitsplätze sind nicht durch Schallschutzwände von einander getrennt. Nach der VDI-Richtlinie 2058 (56) wurde zur Beurteilung der Lärmeinwirkung an den verschiedenen Arbeitsplätzen ein Lärmbeurteilungspegel gebildet, der neben Lärmspitzen auch die Lärmpausen berücksichtigt und einem Dauerschall mit konstanter Pegelhöhe entspricht.

Besonders hohe Schallpegel werden in der Schlosserei erreicht. Der Gesamtbeurteilungspegel beträgt 96 dB (A). Der Schallpegel an den einzelnen Arbeitsplätzen erreicht folgende Werte:

Bleischere	105 dB (A)
Richten	100-112 dB (A)
Schleifen (Flex)	102 dB (A)
Schleifmaschine	98 dB (A)
Bandschleifmaschine	92 dB (A)
Kreissäge	90- 92 dB (A)

Im Bereich der manuellen und maschinellen Formgebung herrscht ein Raumpegel, also der Pegel, der in der Lärmpause herrscht, von 87 dB (A). Als Lärmbeurteilungspegel an den einzelnen Arbeitsplätzen ergeben sich:

Richtplatte	110 dB (A)
Eitel-Presse	104 dB (A)
Kreissäge	102 dB (A)
Router	100-105 dB (A)
Müller-Hammer	100 dB (A)
Schuler-Hammer	100 dB (A)
Bandsäge	92 dB (A)
Richtplätze	92 dB (A)
Entgraten	87 dB (A)
Schleifband	86 dB (A)

Der Raumpegel im Bereich der Richtplätze (Beurteilungspegel 92 dB (A)) wird vorwiegend vom Nieten, das in der selben Halle stattfindet, bestimmt. Durch Trennung beider Bereiche durch Schallschutzwände könnte so der Raumpegel gesenkt werden.

Im Bereich des Nietens liegt der Lärmbeurteilungspegel mit 110 dB (A) sehr hoch. Das Nieten an sich dauert je nach Nietgröße nur $1/4$ bis $2 \frac{1}{2}$ sec. Zwischen den einzelnen Nietvorgängen liegt eine Pause von 5 sec, während der der Arbeiter

einem Raumpegel von 95 dB (A) ausgesetzt ist. Dieser Raumpegel ist zu hoch, um in der Pause eine Hörerholung zu gewährleisten.

Für den Großteil der Arbeitsbereiche könnte so durch Senkung des Raumpegels durch Schallschutzmaßnahmen in den Lärmpausen eine echte Hörerholung ermöglicht werden und auf diese Weise ein bleibender Hörschaden verhindert werden.

Ist eine Senkung des Arbeitslärms unter einen nicht gehörschädigenden Pegel noch nicht möglich, so sollten die Lärmarbeiter sich wenigstens durch persönliche Hörschutzmittel schützen. Trotz einer reichen Auswahl an verschiedenen Hörschutzmitteln werden sie von den Lärmarbeitern nur selten verwendet. So benutzen bisher selbst in einem vorbildlichen Großunternehmen kaum mehr als 10 % der Arbeiter die zur Verfügung gestellten Gehörschützer regelmäßig (BERNHARDT 2). Bei einer Testaktion wurden in 7 Großbetrieben der Textilindustrie nach vorheriger umfassender Information der Lärmarbeiter das Tragen von Gehörschutzwatte propagiert. Obwohl 95 % der Arbeiter die Notwendigkeit von Lärmschutz einsahen, trugen die zur Verfügung gestellt Gehörschutzwatte nur 25 % der Arbeiter regelmäßig und 52 % gelegentlich (PRESTAR 34).

Um die Vorurteile gegen das Tragen von Gehörschutzmitteln abzubauen, ist es notwendig, die Lärmarbeiter über Sinn und Zweck des persönlichen Lärmschutzes aufzuklären. Die Wahrnehmung dieser Aufklärung kommt in erster Linie dem Betriebsarzt und seinen Helfern und dem Sicherheitsingenieur des Betriebes zu.

Der Lärmarbeiter ist jedoch oft nicht nur während der Arbeitszeit Lärm ausgesetzt. Auch in seiner Freizeit treten Lärmpegel auf, die über der Schädigungsgrenze liegen. So treten zum Beispiel folgende Lärmpegel auf:

Music-band	bis 114 dB (A)
Motorsportgeräusche	über 90 dB (A)

Geräusche in manchen Verkehrs-
einrichtungen bis 90 dB (A)
Überfluggeräusche in Flugplätzen über 100 dB (A)
(KLOSTERKÖTTER 21)

Zur Rückbildung der während der Lärmarbeit entstandenen Hörsenke ist jedoch eine lärmarme Umgebung notwendig. So sollte man gerade junge Lärmarbeiter darauf aufmerksam machen, sich in der Freizeit so wenig Lärm wie möglich auszusetzen.

Diese wenigen Beispiele sollen zeigen, wie stark der Lärmarbeiter Geräuschpegeln ausgesetzt ist, die weit über der Gehörschädlichkeitsgrenze liegen, und daß somit bleibende Gehörschäden bei den betroffenen Arbeitern unausweichlich sind.

G. ZUSAMMENFASSUNG

Nach heutigen Anschauungen besteht ein enger Zusammenhang zwischen bleibendem Hörschaden und vorübergehender Schwellenabwanderung. Deshalb wurde in der vorliegenden Arbeit der genaue zeitliche Verlauf der Schwellenabwanderung nach Belastung mit Breitbandrauschen bei einer Frequenz von 1.000 Hz und 4.000 Hz untersucht:

- Die Schwellenabwanderung nach Belastung mit Breitbandrauschen ist linear zu dem Logarithmus der Zeit, d.h. zu Beginn der Lärmbelastung nimmt die Schwellenabwanderung am stärksten zu.
- Die Schwellenabwanderung bei einer Frequenz von 4.000 Hz ist wesentlich größer als bei einer Frequenz von 1.000 Hz.

Durch Lärmpausen während der Arbeitszeit ist es möglich, die Schwellenabwanderung zu reduzieren und dadurch bleibende Hörschäden zu verhindern. Deshalb wurde in dieser Arbeit die Rückbildung der Schwellenabwanderung in Ruhe und unter Nachbelastung festgestellt:

- Die Rückbildung der Schwellenabwanderung in Ruhe verläuft linear zu dem Logarithmus der Zeit.
- Bei einer Nachbelastung mit einem Schallpegel von 80 dB ist nur in den ersten 30 min eine Hörerholung zu erwarten. Im späteren Verlauf tritt keine Hörerholung mehr ein.
- Bei einer Nachbelastung mit einem Schallpegel von 90 dB zeigt sich überhaupt keine Hörerholung mehr.
- Die Rückbildung der Schwellenabwanderung ist bei kurzen Expositionszeiten unabhängig von den Entstehungsfaktoren, d.h. unabhängig von Schallpegel, Expositionsdauer und -art.

LITERATURVERZEICHNIS

- 1) Beck, Chl.;
Michler, H.:
Feinstrukturelle und Histochemische Veränderungen an den Strukturen der Cochlea beim Meer-schweinchen nach dosierter Reintonbeschallung.
Arch. Ohr. usw. Heilk.
174, 496 - 567, 1960
- 2) Bernhardt, H.:
Schutz vor Arbeitslärm. Eine aktuelle Aufgabe für die gewerbliche Wirtschaft.
Die Berufsgenossenschaft. Zeitschr. für Unfallversicherung und Betriebssicherheit.
5, 167 - 171, 1973
- 3) Botsford, J. H.:
Theory of Temporary Threshold Shift.
J. Acoust. Soc. Amer.
49/2, 440 - 446, 1971
- 4) Davis, H.;
Morgan, C.;
Hawkins, J. E.;
Galambos, R.;
Smith, F. W.:
Final Report on Temporary Deafness Following Exposure to Loud Tones and Noise.
Acta oto-laryng. (Stockh.)
Suppl. 88, 16 - 56, 1950
- 5) Dieroff, H. G.:
Die Lärmschwerhörigkeit in der Industrie.
J. A. Barth, Leipzig, 1963
- 6) Dieroff, H. G.:
Hörschäden durch Industrielärm.
Arbeitsmedizin-Sozialmedizin-Arbeitshygiene.
7, 256 - 260, 1967
- 7) van Dishoeck, H. A. E.: Prebyakusis.
In: Berendes-Link-Zöllner: Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Bd. III/Teil 3, S. 1744 - 1763.
G. Thieme, Stuttgart 1966a
- 8) van Dishoeck, H. A. E.: Akustisches Trauma.
In: Berendes-Link-Zöllner: Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Bd. III/Teil 3, S. 1764 - 1799.
G. Thieme, Stuttgart, 1966b

- 9) Doppler, U.;
Haider, M.;
Scheiblechner, H.;
Schwetz, F.:
Experimentelle Hörermüdung und
ihre Rückbildung unter industrie-
ähnlichen schmalbandigen Lärmbe-
dingungen.
Unveröffentlichte Untersuchung;
freundlicherweise von Prof. Dr.
Schwetz, Wien, zur Verfügung ge-
stellt, 1973.
- 10) Engström, H.;
Ades, L.:
Effects of High Intensity Noise
on Inner Ear Sensory Epithelia.
Acta oto-laryng. (Stockh.)
Suppl. 158, 219 - 227, 1960
- 11) Feldmann, H.:
Die Begutachtung der Lärmschwer-
hörigkeit.
Arbeitsmedizin-Sozialmedizin-
Arbeitshygiene 7, 263 - 266, 1967
- 12) Feldmann, H.:
Die Begutachtung der Lärmschwer-
hörigkeit.
Z. Laryng. Rhinol. 51, 230 - 248,
1972
- 13) Flügge, G.:
Kritische Betrachtung zur Beur-
teilung von Arbeitslärm am Arbeits-
platz hinsichtlich Hörschäden.
Stahl u. Eisen 91/9, 495 - 502,
1971
- 14) Ganong, W. F.:
Review of Medical Physiology.
Lange Medical Publications, Los
Altos, California, 1969
- 15) Hirsh, I. J.;
Bilger, R. C.:
Auditory-Threshold Recovery after
Exposure to Pure Tones.
J. Acoust. Soc. Amer.
27, 1186 - 1193, 1955
- 16) Hülse, M.;
Partsch, C. J.:
Beitrag zur Lärmschwerhörigkeit.
Z. Laryng. Rhinol. 49, 121 - 123,
1970
- 17) Irion, H.:
Hörprüfung nach der VDI-Richtlinie
2058 Blatt 2.
Arbeitsschutz 10/11, 348 - 352,
1972

- 18) Jeiter, W.;
Horneffer, K.:
Lärm am Arbeitsplatz.
Arbeitsschutz 10/11, 345 - 348,
1972
- 19) Keidel, W. D.:
Physiologie des Innenohres.
In: Berendes-Link-Zöllner: Hals-
Nasen-Ohren-Heilkunde, Bd. III/
Teil 1, S. 235 - 310.
G. Thieme, Stuttgart, 1965a
- 20) Klosterkötter, W.:
Gesundheitliche Bedeutung des
Lärms.
Zbl. Bakt. I Orig. 212, 336 - 353
1969/70
- 21) Klosterkötter, W.:
Arbeitsmedizinische Aspekte der
Lärmschwerhörigkeit.
Z. Laryng. Rhinol. 51, 203 - 214,
1972
- 22) Köchermann, D.:
Die Rückbildung der Schwellenab-
wanderung, ihre Abhängigkeit von
der Frequenz und vom "Ruhe"-Schall-
pegel.
Med. Diss. Hamburg 1966
- 23) Kryter, K. D.;
Ward, W. D.;
Miller, J. D.;
Elderedge, D. W.:
Hazardous Exposure to Intermittent
and Steady-State Noise.
J. Acoust. Soc. Amer.
39, 451 - 463, 1966
- 24) Langenbeck, B.:
Lehrbuch der praktischen Audio-
metrie.
Fortgeführt von E. Lehnhardt.
G. Thieme, Stuttgart, 1972
- 25) Lehnhardt, E.:
Die Berufsschäden des Ohres.
Arch. Ohr. usw. Heilk.
185, 11 - 242, 1965a
- 26) Lehnhardt, E.;
Bücking, J.:
Lärmpausen - Eine Möglichkeit zur
Prophylaxe der Lärmschwerhörigkeit.
Int. Arch. Gewerbepath. Gewerbehyg.
25, 65 - 74, 1968
- 27) Lehnhardt, E.:
Die Lärmschwerhörigkeit - Klini-
sches Referat.
Z. Laryng. Rhinol. 51, 221 - 230,
1972

- 28) von Lüpke, A.: Ein Gesetz über den Lärm in den USA. Walsh-Healey Regulation-Occupational Noise Exposure. Kampf dem Lärm 17, 114 - 115, 1970
- 29) von Lüpke, A.: Geräuschbeurteilung und Schallschutz. Z. Laryng. Rhinol. 51, 215 - 220, 1972
- 30) Meyer zum Gottesberge, A.: Untersuchung zur Pathogenese der Hörsenken. Arch. Ohr. usw. Heilk. 175, 378 - 382, 1959
- 31) Meyer zum Gottesberge, A.: Die Pathogenese der c⁵-Senke. Acta oto-laryng. (Stockh.) 51, 250 - 255, 1960
- 32) Plath, P.: Das Ton- und Sprachgehör bei Lärmschäden des Ohres. F. K. Schattauer, Stuttgart, 1971
- 33) Plomp, R.; Gravendeel, D. W.; Mimpfen, A. M.: Relation of Hearing Loss to Noise Spectrum. J. Acoust. Soc. Amer. 35, 1234 - 1240, 1963
- 34) Prestar, F.: Testaktion "Persönlicher Lärmschutz" in Betrieben der Textilindustrie. Die Berufsgenossenschaft, Zeitschrift für Unfallversicherung und Betriebssicherheit 5, 172 - 174, 1973
- 35) Rüedi, L.: Verschiedene Typen und Grade des akustischen Traumas nach experimenteller Belastung des menschlichen und tierischen Ohres durch reine Töne und thermische Geräusche. Schweiz. Med. Wochenschrift 50, 1386 - 1389, 1954
- 36) Rüedi, L.; Furrer, W.: Das akustische Trauma. Karger, Basel, 1947

- 37) Schneider, E. J.;
Mutchler, J. E.;
Hoyle, H. R.;
Ode, E. H.;
Holder, B. B.:
The Progression of Hearing Loss
from Industrial Noise Exposures.
Amer. Ind. Hyg. Ass. J.
3, 368 - 376, 1970
- 38) Schreiner, L.;
Eder, H.:
Lärmuntersuchungen und Exposi-
tionstests in der Metallindustrie.
Zbl. Arbeitsmed.
5, 148 - 153, 1974
- 39) Schröder, K.;
Rempt, E.:
Untersuchung zum Lärmpausenproblem.
Lärmbekämpfung 5/6, 142 - 143, 1962
- 40) Schwetz, F.:
Das Ton- und Sprachgehör Lärm-
schwerhöriger.
Mschr. Ohrenheilk. 103, 111 - 115,
1969
- 41) Schwetz, F.;
Donner, R.;
Langer, G.;
Haider, M.:
Experimentelle Hörermüdung und
ihre Rückbildung unter Ruhe- und
Lärmbedingungen.
Mschr. Ohrenheilk. 104, 162 - 167,
1970
- 42) Smith, R. P.;
Loeb, M.:
Recovery from Temporary Threshold
Shift as a Function of Test and
Exposure Frequencies.
J. Acoust. Soc. Amer.
45, 238 - 239, 1969
- 43) Spieth, W.;
Trittipoe, W. J.:
Intensity and Duration of Noise
Exposure and Temporary Threshold
Shifts.
J. Acoust. Soc. Amer.
30, 710 - 713, 1958
- 44) Vosteen, K. H.:
Neue Aspekte zur Biologie und
Pathologie des Innenohres.
Arch. Ohr. usw. Heilk.
178, 51 - 104, 1961
- 45) Wagemann, W.:
Spätverlauf der Lärmschwerhörig-
keit.
Mschr. Unfallheilkunde
69, 23 - 37, 1966a

- 46) Ward, W. D.;
Glorig, A.;
Sklar, D. L.: Dependence of Temporary Threshold Shift at 4 kc on Intensity and Time.
J. Acoust. Soc. Amer.
30, 944 - 954, 1958
- 47) Ward, W. D.;
Glorig, A.;
Sklar, D. L.: Temporary Threshold Shift from Oktave-Band Noise: Applications to Damage-Risk Criteria.
J. Acoust. Soc. Amer.
31, 522 - 528, 1959
- 48) Ward, W. D.;
Glorig, A.;
Sklar, D. L.: Relation between Recovery from Temporary Threshold Shift and Duration of Exposure.
J. Acoust. Soc. Amer.
31, 600 - 602, 1959
- 49) Ward, W. D.;
Glorig, A.;
Selters, W.: Temporary Threshold Shift in a Changing Noise Level.
J. Acoust. Soc. Amer.
32, 235 - 237, 1960
- 50) Ward, W. D.;
Glorig, A.;
Selters, W.: Exploratory Studies on Temporary Threshold Shift from Impulses.
J. Acoust. Soc. Amer.
33, 781 - 793, 1961
- 51) Ward, W. D.;
Dixon, W.: Geräuscheinwirkung im Erzbergbau der Vereinigten Staaten von Amerika. CHABA-Subcommittee 7 - Damage-Risk Criteria - 1970, unveröffentlichte Untersuchung, zit. bei Flüge (13)
- 52) Weissing, H.: Herleitung eines Lärmschädlichkeitskriteriums aus Vertäubungsmessungen.
Mitteilungen aus dem Institut für Elektro- u. Bauakustik der Techn. Universität Dresden, 182 - 190, 1965

- 53) Weissing, H.: Vorschlag für die Beurteilung der Gehörschädlichkeit langfristig intermittierender Geräusche. Mitteilungen aus dem Institut für Techn. Akustik der Techn. Universität Dresden, 96 - 102, 1966

Sonstige Veröffentlichungen

- 54) Hygiene Standart for Wide-Band Noise. British Occupational Hygiene Society Committee on Hygiene Standarts.
Ann. Occ. Hyg. 1457, 1971
zit. bei Klosterkötter (20)
- 55) ISO Recommendation R 1999: Assessment of Occupational Noise Exposure for Hearing Conservation Purposes.
Genf 1971
- 56) VDI-Richtlinie 2058 Blatt 2. Beurteilung von Arbeitslärm am Arbeitsplatz hinsichtlich Gehörschäden. 1970

Meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. L. Schreiner, Chefarzt der Hals-, Nasen- und Ohrenabteilung des Kreiskrankenhauses München-Pasing, möchte ich für die wertvollen Anregungen, die Übernahme und Leitung der Arbeit herzlich danken. Zu Dank bin ich auch Herrn Dipl. Physiker H. Eder, München, für die technische Unterstützung, der Audiologischen Abteilung des Kreiskrankenhauses München-Pasing für die Überlassung der Geräte, verschiedenen Industriebetrieben in München für praktische Hinweise und meinen zahlreichen Versuchspersonen verpflichtet.

L E B E N S L A U F

- 1949 Birgit Delisle, geb. Büttinghaus, geboren am 17. Dezember 1949 in Nannhofen/Kreis Fürstentfeldbruck als Tochter des Apothekers Herbert Büttinghaus und seiner Ehefrau Anna-Maria, geb. Marius
- 1956 - 1960 Besuch der Volksschule in Kolbermoor/Kreis Rosenheim
- 1960 - 1961 Besuch des Mädchen-Realgymnasiums in Rosenheim
- 1961 - 1969 Besuch des Elsa-Brandström-Gymnasiums in München-Pasing
- 1969 Juni 1969 Reifeprüfung
- 1969 seit 1969 Studium der Human-Medizin an der Ludwig Maximilians-Universität in München
- 1972 April 1972 Ärztliche Vorprüfung
- In den Semesterferien:
- sechswöchige Famulatur im Kreiskrankenhaus München-Pasing/Interne Abteilung
 - achtwöchige Famulatur im Krankenhaus der Barmherzigen Brüder in München/Chirurgische und Gynäkologische Abteilung
 - dreiwöchige Famulatur in der Universitäts-Kinderklinik in München
- 1972 am 12. Mai 1972 Verheiratung mit Dipl.-Kfm. Dr. oec. publ. Eduard Delisle
- 1975 Ablegung der ärztlichen Prüfung am 25. Juni 1975

